

Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 3. С. 51-63.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2025. Vol. 108. No. 3. P. 51-63.

Научная статья
УДК 636.087.8
doi:10.33284/2658-3135-108-3-51

**Физиолого-биохимические свойства и пробиотический потенциал штаммов
Enterococcus, выделенных из природных биотопов**

Евгения Николаевна Колодина¹, Мария Валентиновна Довыденкова²

^{1,2}Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, Дубровицы, Россия

¹kolodin77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4017-3390>

²majra_2005@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3093-4117>

Аннотация. Объектом исследования являлись 12 штаммов *Enterococcus* spp, выделенных из желудочно-кишечного тракта животных и птиц, которые прошли тестирование на наличие пробиотических свойств. В ходе изучения физиолого-биохимических признаков было установлено, что выделенные штаммы являются типичными представителями рода *Enterococcus*. Исследуемые штаммы обладали широким спектром ферментируемых веществ. Однако наблюдалась слабая ферментативная активность в отношении ксилоты, сорбита и эскулина. При оценке пробиотических свойств наиболее интенсивный рост наблюдался при нейтральных значениях pH (6,0-8,0), что соответствует условиям толстого отдела кишечника. Наиболее кислотоустойчивыми оказались изоляты *Bdc101* и *Tsc102*, у которых выживаемость при pH 2,0-4,0 увеличилась на 0,12 и 0,11 единиц оптической плотности соответственно. Повышение pH среды до 9,0 оказало ингибирующее действие на тестируемые штаммы энтерококков, их жизнеспособность в этих условиях колебалась в пределах 0,02-0,27 единиц разницы оптической плотности. Изучение реакции на солеустойчивость выделенных культур показало, что большинство из них способны расти в присутствии 7,0 % NaCl, их выживаемость различна и зависит от штамма. Наилучшая выживаемость клеток исследуемых штаммов при концентрации желчи 0,5 % наблюдалась у штаммов *Bdc101*, *Gd110*, *Cs85*, *Cs82*, *C176*, *S71* и *Cs83*, оптическая разница находилась в пределах от 0,44 до 0,74 ед. Далее эти же штаммы проявили снижение разницы OD₆₀₀ на 0,1 ед. при увеличении концентрации желчи в 20 % и 40 %.

Ключевые слова: *Enterococcus* spp, кормовая добавка, пробиотики, биохимические и пробиотические свойства

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР за 2025 г. ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста FGGN-2024-0016 (124020200032-4).

Для цитирования: Колодина Е.Н., Довыденкова М.В. Физиолого-биохимические свойства и пробиотический потенциал штаммов *Enterococcus*, выделенных из природных биотопов // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 3. С. 51-63. [Kolodina EN, Dovydenkova MV. Physiological and biochemical properties and probiotic potential of *Enterococcus* strains isolated from natural biotopes. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(3):51-63. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-3-51>

Original article

Physiological and biochemical properties and probiotic potential of *Enterococcus* strains isolated from natural biotopes

Evgeniya N Kolodina¹, Maria V Dovydenkova²

^{1,2}Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member LK Ernst, Dubrovitsy, Russia

¹kolodin77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4017-3390>

²majra_2005@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3093-4117>

Abstract. The object of the study was 12 strains of *Enterococcus* spp isolated from the gastrointestinal tract of animals and birds that were tested for probiotic properties. During the study of physiological

and biochemical signs, it was found that the isolated strains are typical representatives of the genus *Enterococcus*. The studied strains had a wide range of fermentable substances. However, weak enzymatic activity was observed in relation to xylose, sorbitol and exulin. When assessing probiotic properties, the most intense growth was observed at neutral pH values (6.0-8.0), which corresponds to the conditions of the large intestine. The most acid-resistant isolates were *Bdc101* and *Tsc102*, in which survival at pH 2.0-4.0 increased by 0.12 and 0.11 units of optical density, respectively. Increasing the pH of the medium to 9.0 had an inhibitory effect on the tested enterococcal strains, and their viability under these conditions ranged from 0.02 to 0.27 units of optical density difference. The study of the salt tolerance of the isolated cultures showed that most of them were able to grow in the presence of 7.0% NaCl, but their survival rates varied depending on the strain. The best cell survival of the studied strains at a bile concentration of 0.5% was observed in the strains *Bdc101*, *Gd110*, *Cs85*, *Cs82*, *Cl76*, *S71*, and *Cs83*, with an optical difference ranging from 0.44 to 0.74 units. Further, these same strains showed a decrease in the OD₆₀₀ difference by 0.1 units when the bile concentration was increased to 20 % and 40 %.

Keywords: *Enterococcus spp.*, feed additive, probiotics, biochemical and probiotic properties

Acknowledgments: the work was performed in accordance to the plan of research works for 2025 Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member LK Ernst FGNN-2024-0016 (124020200032-4).

For citation: Kolodina EN, Dovydenkova MV. Physiological and biochemical properties and probiotic potential of *Enterococcus* strains isolated from natural biotopes. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(3):51-63. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-3-51>

Введение.

В последние несколько десятилетий учеными уделяется значительное внимание добавкам, оказывающим влияние на микрофлору кишечника. Общеизвестно, что состояние микрофлоры играет важную роль в иммунном статусе животных, метаболизме и усвоении питательных веществ (Нотова С.В. и др., 2023).

Энтерококки являются как патогенными, так и комменсальными микроорганизмами, повсеместно встречающиеся в окружающей среде даже в качестве кишечных симбионтов, относятся к молочнокислым бактериям. Они играют важную роль в поддержании микробного баланса, участвуя в процессах ферментации, синтеза витаминов и защиты от патогенов. На сегодняшний день род *Enterococcus* еще не получил статуса общепризнанного безопасного (GRAS) (Huys G et al., 2013), но некоторые представители используются в качестве пробиотиков как альтернатива антибиотикам, стимулирующим рост, а также в производстве кормовых добавок для лечения или профилактики инфекций, вызванных патогенными микроорганизмами; для улучшения иммунного ответа и показателей роста (Huys G et al., 2013; Franz CMAP et al., 2011).

Желудочная среда характеризуется крайне низким уровнем pH (1,5-3,0), что представляет собой серьезный барьер для выживания микроорганизмов. Однако штаммы *Enterococcus faecium* демонстрируют устойчивость к таким условиям благодаря нескольким адаптивным механизмам. Во-первых, они способны поддерживать внутриклеточный pH на уровне, близком к нейтральному, даже при внешнем pH 2,0-3,0, что достигается за счет работы F₀F₁-АТФазы, которая активно экспортирует протоны из клетки, предотвращая закисление цитоплазмы (Pereira CI et al., 2009). Во-вторых, *E. faecium* синтезирует стрессовые белки, такие как Clp-протеазы, которые защищают клеточные структуры от повреждений, вызванных кислотным стрессом (Chen Z et al., 2024). Кроме того, некоторые штаммы способны формировать биопленки, обеспечивающие дополнительную защиту от агрессивной среды и способствующие выживанию в кислых условиях (Porović N et al., 2018). Эти механизмы позволяют энтерококкам не только выживать в кислой среде желудка, но и успешно достигать кишечника, где они могут проявлять свои пробиотические свойства.

Благодаря этим свойствам значительное количество штаммов *Enterococcus spp.* являются хорошо адаптированными к пищевым системам (Foulquié Moreno M et al., 2006). Их конкурентоспособность также обусловлена способностью продуцировать бактериоцины, которые известны своей эффективностью в отношении патогенных бактерий и продуктов порчи.

Бактериоцины являются сильнодействующими, малотоксичными и специфичны для конкретной мишени, т. е. воздействуют на узкий круг бактерий, поэтому они могут действовать, не затрагивая большую часть естественной микробиоты, что является общим недостатком традиционного применения антибиотиков (Lohans CT and Vederas JC, 2012; Oldak A and Zielinska D, 2017).

Поскольку было доказано, что свойства пробиотиков зависят от штамма, очень важна точная идентификация штаммов-кандидатов. Несмотря на свой патогенный потенциал, комменсальные энтерококки обычно проявляют низкий уровень вирулентности, о чем свидетельствует их присутствие в качестве естественных колонизаторов желудочно-кишечного тракта человека и большинства животных, а также тот факт, что они десятилетиями безопасно использовались в качестве пробиотиков для людей и сельскохозяйственных животных (Arias CA and Murray BE, 2012).

Функциональные требования к пробиотикам включают устойчивость к желудочному соку и желчи, способность адгезироваться к эпителиальным поверхностям, длительное пребывание в желудочно-кишечном тракте, стимуляцию иммунной системы, антагонистическую активность против кишечных патогенов (например, *Helicobacter pylori*, *Salmonella spp.*, *Listeria monocytogenes* и *Clostridium difficile*), а также способность стабилизировать и регулировать состав кишечной микробиоты (Hill C et al., 2020).

Эти требования представляют собой серьезный барьер для отбора и селекции пробиотических микроорганизмов, так например штаммы *E. faecium* и *E. faecalis* – единственные энтерококки, используемые в качестве пробиотиков или кормовых добавок (Franz CMAP et al., 2011). Они обладают большим преимуществом перед другими пробиотиками с точки зрения устойчивости к высоким температурам, также хорошо адаптируются к любым условиям и могут выживать в агрессивной среде желудочно-кишечного тракта. Кислотоустойчивость и устойчивость к солям желчных кислот позволяют этим бактериям продолжать функционировать в организме во время пищеварения, что является одной из ключевых причин, по которой их можно использовать в качестве кормовой добавки для сельскохозяйственных животных (Amaral DMF et al., 2017; Torres C et al., 2018).

Результаты зарубежных исследований показывают, что среднесуточный привес поросят, получавших 500 мг/кг *E. faecium* в рационе, увеличился на 2,63 %, среднесуточный расход корма снизился на 0,72 %, а F/G (коэффициент конверсии корма) снизился на 2,46 % (Liu ZL et al., 2023). Помимо улучшения продуктивности и иммунитета животных, *E. faecium* может сбалансировать микрофлору кишечника и способствовать росту полезных кишечных бактерий (Zhang L et al., 2009; Liu SB et al., 2017; Wang W et al., 2020).

В исследованиях, проведенных Suvorov A с соавторами (2023), было изучено влияние добавления пробиотического штамма *E. faecium* L3 в рацион сельскохозяйственной птицы в качестве альтернативы антибиотику эритромицину. К завершению эксперимента группа цыплят, получавших пробиотик, показала среднее увеличение живой массы более чем на 100 г по сравнению с контрольной группой, где добавка не использовалась ($P < 0,05$). При изучении биохимического анализа сыворотки крови было выявлено значительное увеличение уровня ЛПВП (липопротеинов высокой плотности) ($P < 0,05$) в группе, получавшей пробиотик, по сравнению с контрольной группой. Анализ методом секвенирования 16S РНК показал увеличение численности бактерий семейства *Lachnospiraceae* и снижение количества протеобактерий в группе, получавшей пробиотик. В группе, получавшей антибиотик, наблюдалось заметное увеличение количества протеобактерий, в том числе рода *Salmonella* (Suvorov A et al., 2023).

В исследовании Ермоленко Е.И. и соавторов (2009) изучалось влияние пробиотических энтерококков на микробиоту и функциональные характеристики кишечника в условиях дисбиоза, вызванного применением антибиотиков. Результаты показали, что пероральное введение пробиотического штамма *E. faecium* L5 способствовало ускоренному восстановлению сахаролитической активности микрофлоры в нижних отделах кишечника. Однако в верхних отделах кишечника наблюдалось снижение некоторых функциональных показателей, таких как масса слизистой оболочки и активность мальтазы, что, вероятно, было связано с адаптивными изменениями (Ермоленко Е.И. и др., 2009).

По результатам исследований Лебедева М.Н. и Ковалева С.П. (2020) при кормлении телят пробиотиком на основе штамма *Enterococcus Faecium* L-3, позволило сделать вывод, что введение в комплекс профилактических мероприятий пробиотика приводит к увеличению среднесуточных привесов животных, способствует более эффективному гемопоэзу, лучшим иммунологическим показателям и нормализации биохимических показателей сыворотки крови, а также повышенной устойчивости к желудочно-кишечным расстройствам.

Приведенные выше исследования показывают актуальность поиска новых штаммов *Enterococcus spp.*, которые могли бы быть использованы в качестве пробиотиков. Это особенно важно в условиях растущей устойчивости патогенов к антибиотикам и необходимости разработки альтернативных стратегий для поддержания здоровья животных. Кроме того, изучение физиолого-биохимических свойств *Enterococcus spp.* позволит лучше понять их роль в микробиоме ЖКТ и разработать эффективные подходы к их применению.

Цель исследования.

Изучение физиолого-биохимических свойств штаммов *Enterococcus spp.*, изолированных из желудочно-кишечного тракта животных, и оценка их пробиотического потенциала с использованием методов *in vitro* для выбора наиболее перспективных штаммов.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. 12 штаммов *Enterococcus spp.*, выделенных из образцов биологического материала: содержимое толстого отдела кишечника сельскохозяйственных животных и птицы.

Все работы с микроорганизмами осуществлялись с требованиями по биологической безопасности в соответствии СанПиН 3.3686-21 «Санитарно-эпидемиологические требования по профилактике инфекционных болезней», СП 1.3.2518-09. Безопасность работы с микроорганизмами III-IV групп патогенности (опасности) и возбудителями паразитарных болезней. Дополнения и изменения N 1 к СП 1.3.2322-08. Санитарно-эпидемиологические правила.

Схема эксперимента. Суточную культуру энтерококков культивировали в MRS бульоне и энтероккагаре (HiMedia, Индия; ГНЦ ПМБ, Оболенск) в течение 24 часов при +38 °C для оценки жизнеспособности. Тинкториальные свойства выделенных штаммов *Enterococcus spp.* исследовали путем окраски по Граму. Морфологические свойства и чистоту штаммов и изолятов проверяли под световым микроскопом «Nicon» при увеличении 100×16. Биохимические свойства определяли с использованием тест-систем HiMedia Laboratories Pvt. Limited (Индия) и PLIVA-Lachem a Diagnostika (Чехия) со специфическими сахарами (рибоза, раффиноза, лактоза, салицин, манноза, сахароза, мальтоза, ксилоза, трегалоза, галактоза, сорбит, мелицитоза, эскулин, N-ацетил Д-глюкозамин, метил-B-D-глюкопиранозид, VP (реакция Фогес-Проскауэра), PHS βGA (фосфатаза β-галактозидаза), PYR (пирролидонилариламидаза), утилизация цитрата, реакция на индол, нитраты, нитриты). Все посеы инкубировали при температуре +37...+38 °C в течение 24 часов в аэробных условиях, после чего проводили предварительную оценку результатов; окончательный учет результатов осуществляли через 48 часов. Для анализа биохимических свойств культуру последовательно пересевали на жидкие и плотные питательные среды, повторяя процесс через 3- 5 пассажей. Стабильность фенотипических признаков подтверждалась при трехкратном совпадении всех исследованных биохимических реакций, наблюдаемом в процессе пассирования культур (не менее 10 пассажей).

Для оценки пробиотического потенциала выделенных штаммов *Enterococcus spp.* в ходе данного эксперимента использовали различные методы *in vitro*, включая толерантность к различным значениям pH (2,0-9,0), содержанию NaCl (0,5; 1,0; 3,0; 5,0; 7,0 %) и желчи (0,5 %, 20 % и 40 %) определяли с использованием микробиологического анализатора Multiskan FC («ThermoFisher Scientific Inc.», Финляндия) путем измерения оптической плотности при длине волны 600 нм на стерильных 96-луночных микропланшетах с плоским дном. В каждую лунку вносили 180 мкл MRS бульона (pH, NaCl, желчь) и 20 мкл суточной культуры с OD₆₀₀ нм=0,2. В качестве контроля использовали посеы без добавления желчи и NaCl. Культивирование инокулированных питательных сред с различной концентрацией желчи, NaCl и pH проводили в течение 24 ч при +37 °C. Жизнеспособность клеток определяли по изменению оптической плотности на спектрофотометре через 24 ч. Все результаты были средними из трех независимых экспериментов с 5 параллельными повторениями (n=5). Каталазную активность определяли путем добавления к 0,5 мл суточной буль-

онной культуре энтерококков 0,5 мл 3 %-ной перекиси водорода с последующим наблюдением за постоянным образованием пузырьков на предметном стекле.

Оборудование и технические средства. Работа была выполнена на базе лаборатории микробиологии ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста. Автоматический анализатор Multiskan FC (ThermoFisher Scientific Inc., Финляндия), световой микроскоп «Nicon» (Япония), термостат электрический суховоздушный TCO-1/80 (Россия), бокс микробиологической безопасности БМБ-II-«Ламинар – С»-1,5 (Neoteric) (Россия), тест-системы HiMedia Laboratories Pvt. Limited (Индия) PLIVA-Lachema Diagnostika (Чехия) со специфическими сахарами.

Статистическая обработка. Материалы, полученные в ходе эксперимента, были обработаны с использованием методов биометрического анализа, включая дисперсионный анализ (ANOVA), с помощью программы «Statistica» версии 13 (StatSoft Inc., США). В процессе анализа были рассчитаны следующие показатели: среднее арифметическое значение ($\bar{M}$), стандартная ошибка среднего ($\pm m$) и уровень статистической значимости (p). При значениях $P \leq 0,1$, но $P \geq 0,05$ наблюдалась тенденция к достоверности данных. Если $p > 0,1$, различия считались статистически недостоверными.

Результаты исследований.

В рамках данного исследования были отобраны 12 штаммов *Enterococcus spp.*, выделенных из желудочно-кишечного тракта животных, которые прошли тестирование на наличие пробиотических свойств (кислотоустойчивость, устойчивость к солям NaCl и желчи).

При микроскопическом анализе мазков, приготовленных из бульонной культуры, энтерококки представляли собой грамположительные кокки, которые были расположены поодиночке, парами, в виде небольших скоплений или цепочек. Колонии исследуемых штаммов энтерококков, выращенные на энтероккагаре, имели округлую форму с ровными краями, имели бледно-розовый цвет, гладкую поверхность с металлическим блеском и однородную структуру. При микроскопии наблюдался выраженный полиморфизм, который проявлялся как в форме клеток (круглые, вытянутые или в виде коккобактерий), так и в их размерах (диаметр около 0,6-2,0 мкм). Выделенные штаммы являлись факультативными анаэробами, оптимальная температура культивирования которых составляла +37...+38 °C. В ходе изучения фенотипических признаков было установлено, что клетки 12 исследуемых изолятов были неподвижны, не содержали спор и капсул, окрашивались положительно по Граму, были каталазонегативными, не восстанавливали нитраты и давали отрицательный результат на индол.

Оценка способности к ассимиляции углеводов показала, что исследуемые штаммы обладают широким спектром ферментируемых веществ. У 12 выделенных штаммов был изучен биохимический профиль (табл. 1). Моносахариды являются наиболее быстрым и эффективным источником энергии для клеточных процессов. Как видно из таблицы 1, все 12 изолятов способны сбраживать гексозы (галактозу, маннозу, рибозу) и олигосахариды, содержащие остатки гексоз (галактозу, сахарозу, мальтозу и трегалозу). Кроме того, дисахариды, такие как мальтоза, сахароза, лактоза и трегалоза, состоящие из двух остатков глюкозы, расщепляются и утилизируются всеми штаммами. Однако слабая ферментативная активность наблюдалась в отношении ксилитозы, сорбита и эксулина. В связи с этим основным критерием выбора пробиотического штамма *Enterococcus* являлась оценка его устойчивости к низкому pH, воздействию желчи и высокой концентрации NaCl, поскольку основные биологические барьеры, которые необходимо преодолеть после приема внутрь, чтобы достичь места его действия, кислота в желудке и соли желчных кислот в кишечнике.

В результате культивирования при +37 °C через 24 часа наблюдалось увеличение разницы оптической плотности (OD_{600}), что свидетельствует о росте клеток. Штаммы *Bdc22*, *Bdc101*, *Gd110*, *Tsc102*, *Cl54*, *Cl76* и *S71* хорошо переносили значения pH в диапазоне от 6,0 до 8,0, в то время как штаммы *Cs85*, *Cs82*, *Sr180* и *Cs83* не проявили устойчивости к щелочной среде (pH 9,0). Наиболее интенсивный рост наблюдался при нейтральных значениях pH (6,0-8,0), что соответствует условиям толстого отдела кишечника. Наиболее кислотоустойчивыми оказались изоляты *Bdc101* и *Tsc102*, у которых выживаемость при pH 2,0-4,0 увеличилась на 0,12 и 0,11 единиц оптической плотности соответственно. Повышение pH среды до 9,0 оказало ингибирующее действие на тестируемые штаммы энтерококков, их жизнеспособность в этих условиях колебалась в пределах 0,02-0,27 единиц разницы оптической плотности. Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что устойчивость энтерококков к различным значениям pH может быть видовым признаком (рис. 1).

Таблица 1. Ассимиляционная активность штаммов *Enterococcus* spp.
Table 1. Assimilation activity of *Enterococcus* spp. strains

№ штамма / Strain number	Bdc22	Bdc101	Gdl10	Tsc102	Cs85	Cs82	CI54	CI76	Sr180	Cs83	S71	CI94
Подвижность / mobility	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Рибоза / ribose	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Раффиноза / raffinose	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Лактоза / lactose	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Салицин / salicin	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Манноза / mannose	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Сахароза / sucrose	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Мальтоза / maltose	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ксилоза / xylose	-	-	±	-	-	±	±	-	-	±	-	-
Трегалоза / trehalose	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Галактоза / galactose	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Сорбит / sorbitol	±	-	-	+	-	-	±	±	-	-	-	-
Мелицитоза / melicitosis	-	-	±	-	-	±	-	±	±	±	-	-
Эскулин / aesculin	+	+	±	±	-	+	+	+	+	±	-	±
N-ацетил D глюкозамин / <i>n</i> -acetylglucosamine D glucosamine	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Метил-B-D-глюкопиранозид / <i>methyl</i> -B-D-glucopyranoside	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
VP	±	+	-	±	+	-	±	+	±	-	±	±
PHS βGA	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-
PYR	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+
Утилизация цитрата / utilization of citrate	-	±	+	-	±	+	-	-	+	±	±	±

Примечание: «+» – ассимиляция вещества происходит; «-» – ассимиляция вещества не происходит, "±" – слабое проявление реакции

Note: "+" – assimilation of the substance occurs; "-" – assimilation of the substance does not occur, "±" – weak manifestation of the reaction

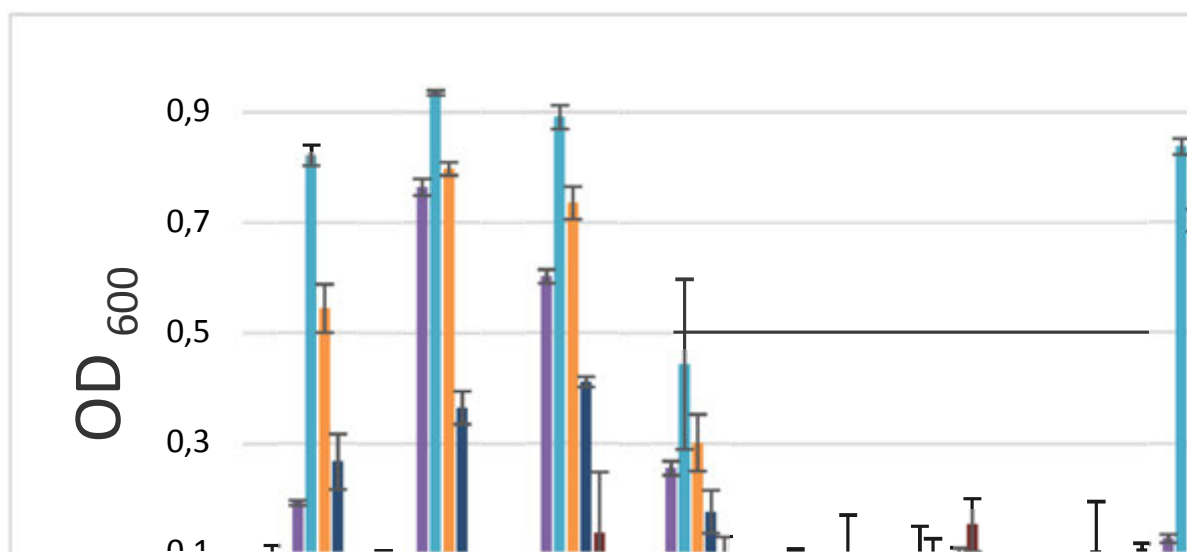


Рисунок 1. Разница по оптической плотности кислотоустойчивости штаммов *Enterococcus spp.*
 Figure 1. Difference according to optical density of acid resistance of *Enterococcus spp.* strains

Полученные результаты указывают на важность контроля концентрации NaCl для оптимизации процессов, связанных с микроорганизмами или химическими реакциями. Изучение реакции на солеустойчивость выделенных культур показало, что большинство из них способны расти в присутствии 7,0 % NaCl, их выживаемость различна и зависит от штамма. При температуре +37 °C штаммы демонстрировали значительный рост в концентрациях 0,5-3,0 % NaCl, в то время как при концентрациях ≥ 5 % NaCl значительного увеличения OD₆₀₀ с течением времени у тестируемых штаммов не наблюдалось (рис. 2). Исследования последних лет подтверждают, что концентрация NaCl играет ключевую роль в выживании и активности пробиотических штаммов.

На рисунке 3 представлены результаты исследования степени выживаемости выделенных энтерококков при росте в присутствии 0,5, 20 и 40 % желчи. Наилучшая выживаемость клеток исследуемых штаммов при концентрации желчи 0,5 % наблюдалась у штаммов *Bdc101*, *Gd110*, *Cs85*, *Cs82*, *Cl76*, *S71* и *Cs83* оптическая разница находилась в пределах от 0,44 до 0,74 ед. Далее эти же штаммы проявили снижение разницы OD₆₀₀ на 0,1 ед. при увеличении концентрации желчи в 20 % и 40 %.

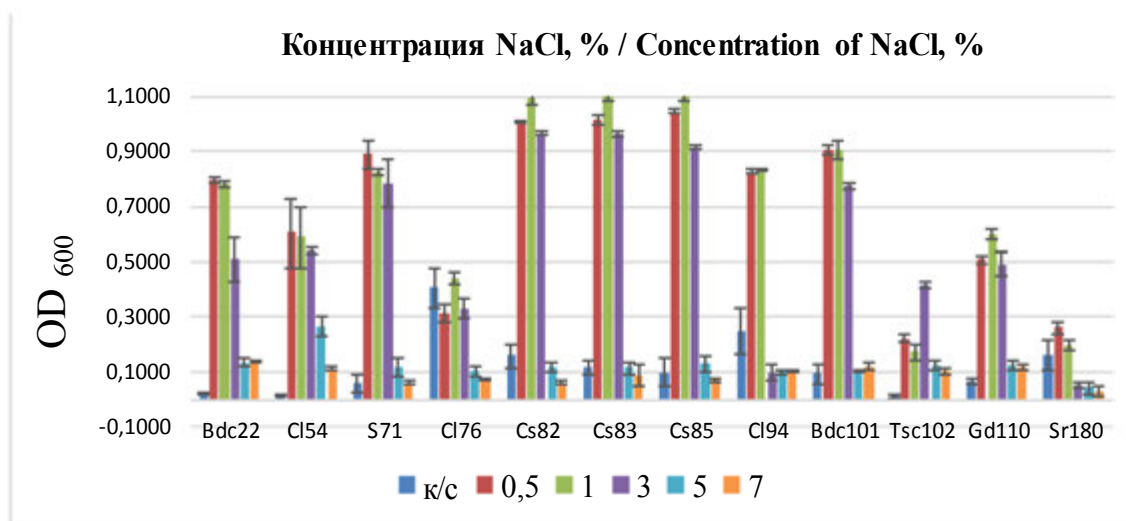


Рисунок 2. Разница по оптической плотности устойчивости штаммов *Enterococcus spp.* к различным концентрациям NaCl
 Figure 2. Difference according to optical density of resistance of *Enterococcus spp.* strains to different concentrations of NaCl

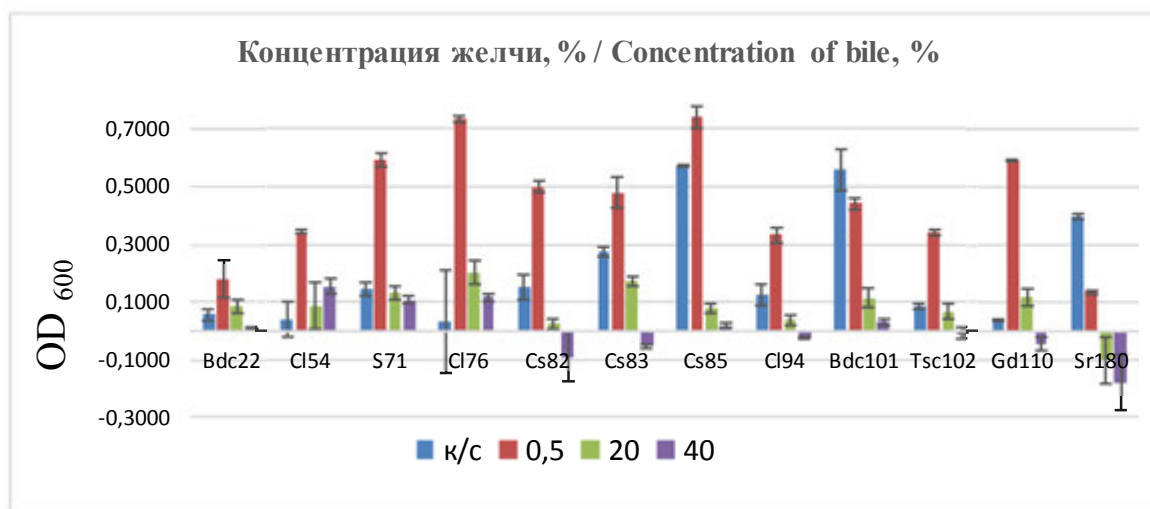


Рисунок 3. Разница по оптической плотности устойчивости штаммов *Enterococcus* spp. к различным концентрациям желчи

Figure 3. Difference according to optical density of resistance of *Enterococcus* spp strains. to different concentrations of bile

Обсуждение полученных результатов.

Энтерококки, являясь естественными обитателями кишечной микрофлоры, активно участвуют в метаболических процессах, таких как синтез витаминов, гидролиз сахаров, деконъюгация желчных кислот и устранение патогенных бактерий. Штаммы *Enterococcus* способны выживать, конкурировать с другими микроорганизмами и прикрепляться к клеткам хозяина в желудочно-кишечном тракте, что делает их перспективными для использования в качестве пробиотиков (Nan-chi H et al., 2018).

Энтерококки осуществляют метаболизм по типу брожения, ферментируя различные углеводы с преимущественным образованием молочной кислоты без выделения газа, что может приводит к снижению pH до 4,2-4,6. В некоторых случаях они способны восстанавливать нитраты (Franz CMAP et al., 2011).

Изменение кислотности среды может влиять на бактериоциногенную активность энтерококков. В исследовании Banwo K с коллегами (2013) было продемонстрировано снижение анти-микробной активности бактериоцинов при высоких значениях pH, в то время как их свойства сохранялись при более низких значениях. Это связано с тем, что оптимальный уровень кислотности для производства бактериоцинов молочнокислыми бактериями часто ниже, чем оптимальный уровень для их роста. Таким образом, устойчивость энтерококков к факторам макроорганизма способствует их успешной колонизации в кишечнике животных.

Проведенные опыты показали, что изолированные из ЖКТ животных штаммы *Enterococcus* spp. обладают рядом свойств, благоприятных для пробиотиков. Они продемонстрировали высокую кислотоустойчивость и солеустойчивость, способность выдерживать присутствие желчных солей, а также широкий спектр ферментативной активности. Эти характеристики соответствуют типичным представителям рода *Enterococcus*, известным своей адаптированностью к экстремальным условиям среды. В нашем исследовании наибольший рост наблюдался при нейтральном pH 6,0-8,0, что соответствует условиям толстого кишечника, тогда как при pH 9,0 рост угнетался (прирост OD₆₀₀ не превышал ~ 0,2). При кислотном воздействии (pH 2,0-4,0) некоторые штаммы (например, Bdc101 и Tsc102) сохранили жизнеспособность, о чем свидетельствует увеличение оптической плотности культуры (~ 0,11-0,12 OD₆₀₀ за 24 ч). Это свидетельствует о высокой кислотоустойчивости отдельных изолятов. Известно, что для эффективного прохождения желудка пробиотические бактерии должны выживать при pH ~3 в течение нескольких часов (Dikbaş N et al., 2024). Наши штаммы в целом отвечают этому критерию, что согласуется с данными других исследований.

Например, штаммы *Enterococcus faecalis* OB14 и OB15, выделенные из традиционных сыров, после 3 часов при pH 3,0 сохранили 85-97 % клеток, что сопоставимо с промышленным пробиотическим штаммом *E. faecalis* Symbioflor 1. (Baccouri O, et al., 2019). Так, штамм *E. faecium* BS5 показал выживаемость ~ 76-78 % при pH 3,0-4,0, а отдельные пробиотические изоляты *E. faecalis* сохраняют жизнеспособность даже при pH 2,5-3,0 почти на 90-100 % (Liu ZL et al., 2023; Baccouri O et al., 2019). Эти адаптационные реакции позволяют энтерококкам проходить через желудок и достигать кишечника в жизнеспособном состоянии, что является необходимым условием реализации пробиотического эффекта.

Толерантность к соли, выявленная у наших изолятов, также соответствует известным физиологическим свойствам энтерококков. В опытах почти все штаммы росли при концентрациях NaCl 0,5-3,0 %, а около 70 % из них сохранили рост даже при 6,5-7,0 % NaCl. Значительного увеличения OD₆₀₀ не наблюдалось лишь при концентрации ≥ 5 % NaCl, что указывает на приближение к пределу солеустойчивости большинства изолятов. Из литературы известно, что энтерококки выдерживают до 6,5-8,0 % NaCl, тогда как многие кишечные лактобациллы теряют жизнеспособность уже при 1-4 % соли (Dikbaş N et al., 2024).

Не менее важным пробиотическим критерием является устойчивость к солям желчных кислот, поскольку в двенадцатиперстной кишке пробиотики сталкиваются с концентрированной желчью. Опытным путем установлено, что при 0,5 % желчи многие наши изоляты (*Bdc101*, *Gd110*, *Cs85*, *Cs82*, *C176*, *S71*, *Cs83*) имели хороший рост (разница OD₆₀₀ – 0,44-0,74 единиц за сутки), что указывает на высокую выживаемость в присутствии желчных солей. При повышении концентрации желчи (примерно до 0,7 %) рост этих штаммов несколько снижался (OD₆₀₀ уменьшалась на ~ 0,1). Данные согласуются с результатами других исследований: так, штамм *E. faecium* 9N-2 из сыра выдерживал 0,3 % желчи с выживаемостью ~ 94 % (3 ч инкубации) и даже при 1,5 % желчи сохранял до 20 % клеток (Dikbaş N et al., 2024; Xiao J et al., 2024).

Наличие фермента *BSH* (гидролаза желчных солей) считается одним из ключевых факторов устойчивости к желчи: он дегидролизует конъюгированные желчные кислоты, снижая их детергентный эффект на мембраны бактерий (Han KI et al., 2024). Вероятно, аналогичный механизм присущ и нашим лучшим штаммам – по крайней мере, высокая толерантность косвенно указывает на активное разрушение или откачку желчных солей.

Анализ ферментативной активности *in vitro* показал, что штаммы *Enterococcus spp.* обладают широким спектром усваиваемых субстратов. По данным тестов ассимиляции углеводов, все 12 изученных изолятов ферментировали различные моно- и дисахариды (гексозы – глюкоза, галактоза, манноза; дисахариды – мальтоза, лактоза, сахароза, трегалоза и др.). При этом отмечена слабая ферментативная активность в отношении некоторых субстратов, в частности ксилозы, сорбита и эскулина. Различия в утилизации ксилозы и других пентоз могут указывать на преобладание в нашей выборке определенного вида энтерококков. Тем не менее, гидролиз эскулина – классический признак рода *Enterococcus* – был положительным (хотя и слабовыраженным) у большинства штаммов, что подтверждает их принадлежность к группе D стрептококков. Способность расщеплять эскулин связана с наличием фермента β-глюкозидазы; этот же ферментативный аппарат часто сопряжен с активностью *BSH*, позволяющей деконъюгировать гликозидные связи желчных кислот (Xiao J et al., 2024). Таким образом, метаболически наши изоляты хорошо приспособлены к разнообразным источникам углеводов. В условиях кишечника это означает, что энтерококки смогут конкурировать за субстраты с патогенами и резидентной микрофлорой, используя пищевые сахара и образуя органические кислоты.

Заключение.

Наиболее перспективными из 12 штаммов оказались штаммы *Bdc101* и *TSC102*, способные переносить значения pH 2,0-4,0, также штамм *Bdc101* устойчив к воздействию желчи при концентрации 0,5 %. Все 12 штаммов демонстрировали значительный рост в концентрациях 0,5-3,0 % NaCl. Изученные нами наиболее перспективные штаммы бактерий рода *Enterococcus* требуют дальнейшего изучения методами молекулярной диагностики и в опытах на лабораторных животных, что будет запланировано в дальнейшей работе.

Список источников

1. Влияние пробиотических энтерококков на функциональные характеристики кишечника крыс при дисбиозе, индуцированном антибиотиками / Е.И. Ермоленко, В.Н. Донец, Ю.В. Дмитриева, Ю.Ю. Ильясов, М.А. Суворова, Л.В. Громова // Вестник Санкт-Петербургского университета. Медицина. 2009. № 1. С. 157-167. [Yermolenko EI, Donets VN, Dmitrieva YuV, Ilyasov YuY, Suvorova MA, Gromova LV. Influence of probiotic enterococci on functional characteristics of rat bowel under disbiosis induced by antibiotics. Vestnik of St. Petersburg University. Medicine. 2009;1:157-167. (In Russ.)].
2. Лебедев М.Н., Ковалев С.П. Применение пробиотика на основе штамма *Enterococcus faecium* L-3 для профилактики энтерита у телят // Основы и перспективы органических биотехнологий. 2020. № 3. С. 17-22. [Lebedev MN, Kovalev SP. Application of a probiotic based on the *Enterococcus faecium* L-3 for prevention of enteritis in calves. Osnovy i perspektivy organicheskikh biotekhnologij. 2020;3:17-22. (In Russ.)].
3. Нотова С.В., Казакова Т.В., Маршинская О.В. Изучение эффективности применения пробиотиков в сочетании с биокоординационными соединениями на показатели яичной продуктивности птиц // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 1. С. 156-166. [Notova SV, Kazakova TV, Marshinskaya OV. The efficiency of probiotics in combination with biocoordination compounds on egg-production of birds. Animal Husbandry and Fodder Production. 2023;106 (1):156-166. (In Russ.)]. doi:10.33284/2658-3135-106-1-156
4. Amaral DMF, Silva LF, Casarotti SN, Nascimento LC, Penna ALB. *Enterococcus faecium* and *Enterococcus durans* isolated from cheese: Survival in the presence of medications under simulated gastrointestinal conditions and adhesion properties. J Dairy Sci. 2017;100(2):933-949. doi: 10.3168/jds.2016-11513
5. Arias CA, Murray BE. The rise of the *Enterococcus*: beyond vancomycin resistance. Nat Rev Microbiol. 2012;10:266-278. doi: 10.1038/nrmicro2761
6. Baccouri O, Boukerb AM, Farhat LB, Zébré A, Zimmermann K, Domann E, Cambrone M, Barreau M, Maillot O, Rincé I, Muller C, Marzouki MN, Feuilloley M, Abidi F and Connil N. Probiotic potential and safety evaluation of *Enterococcus faecalis* OB14 and OB15, isolated from traditional tunisian testouri cheese and rigouta, using physiological and genomic analysis. Front Microbiol. 2019;10:881. doi: 10.3389/fmicb.2019.00881
7. Banwo K, Sanni A, Tan H. Technological properties and probiotic potential of *Enterococcus faecium* strains isolated from cow milk. J Appl Microbiol. 2013;114(1):229-241. doi: 10.1111/jam.12031
8. Chen Z, Niu C, Wei L, Huang Z, Ran S. Genome-wide analysis of acid tolerance genes of *Enterococcus faecalis* with RNA-seq and Tn-seq. BMC Genomics. 2024;8:25(1):261. doi: 10.1186/s12864-024-10162-z
9. Dikbaş N, Orman YC, Alım Ş, Uçar S, Tülek A. Evaluating *Enterococcus faecium* N-2 as a probiotic candidate from traditional village white cheese. Food Sci Nutr. 2024;28:12(3):1847-1856. doi: 10.1002/fsn3.3878
10. Foulquié Moreno MR, Sarantinopoulos P, Tsakalidou E, Vuyst LDe. The role and application of enterococci in food and health. Int J Food Microbiol. 2006;106(1):1-24. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2005.06.026
11. Franz CMAP, Huch M, Abriouel H, Holzapfel W, Gálvez A. Enterococci as probiotics and their implications in food safety. Int J Food Microbiol. 2011;151(2):125-140. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2011.08.014
12. Genci G, Trotta F, Galdini G. Tolerance to challenges miming gastrointestinal transit by spores and vegetative cells of *Bacillus clausii*. J Appl Microbiol. 2006;101(6):1208-1215. doi: 10.1111/j.1365-2672.2006.03042.x
13. Han KI, Shin H-D, Lee Y, Baek S, Moon E, Park YB, Cho J, Lee J-H, Kim T-J, Manoharan RK. Probiotic and postbiotic potentials of *Enterococcus faecalis* EF-2001: a safety assessment. Pharmaceuticals. 2024;17(10):1383. doi: 10.3390/ph17101383

14. Hanchi H, Mottawea W, Sebei K, Hammami R. The genus *Enterococcus*: between probiotic potential and safety concerns—an update. *Front Microbiol.* 2018;9:1791. doi: 10.3389/fmicb.2018.01791
15. Hill C, Guarner F, Reid G, Gibson GR, Merenstein DJ, Pot B, Sanders ME, et al. Expert consensus document. The international scientific association for probiotics and prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology.* 2014;11(8):506-514. doi: 10.1038/nrgastro.2014.66
16. Huys G, Botteldoorn N, Delvigne F, De Vuyst L, Heyndrickx M, Pot B, et al. Microbial characterization of probiotics—advisory report of the working group “8651 probiotics” of the Belgian superior health council (SHC). *Mol Nutr Food Res.* 2013;57(8):1479-1504. doi: 10.1002/mnfr.201300065
17. Liu SB, Liao XD, Lu L, Li SF, Wan L, Zhang LY, et al. Dietary non-phytate phosphorus requirement of broilers fed a conventional corn-soybean meal diet from 1 to 21 d of age. *Poult Sci.* 2017;96(1):151-159. doi: 10.3382/ps/pew212
18. Liu ZL, Chen YJ, Meng QL, Zhang X, Wang XL. Progress in the application of *Enterococcus faecium* in animal husbandry. *Front Cell Intestinal Microbiome.* 2023;13:1168189. doi: 10.3389/fcimb.2023.1168189
19. Lohans CT, Vederas JC. Development of Class IIa bacteriocins as therapeutic agents. *Int J Microbiol.* 2012;386410. doi: 10.1155/2012/386410
20. Makioka Y, Tsukahara T, Ijichi T, Inoue R. Oral supplementation of *Bifidobacterium longum* strain BR-108 alters cecal microbiota by stimulating gut immune system in mice irrespectively of viability. *Biosci Biotechnol Biochem.* 2018;82(7):1180-1187. doi: 10.1080/09168451.2018.1451738
21. Oldak A, Zielinska D. Bacteriocins from lactic acid bacteria as an alternative to antibiotics. *Postepy Hig Med Dosw.* 2017;71(0):328-338. doi: 10.5604/01.3001.0010.3817
22. Pereira CI, Matos D, Romão MVS, Crespo MTB. Dual role for the tyrosine decarboxylation pathway in *Enterococcus faecium* E17: response to an acid challenge and generation of a proton motive force. *Appl Environ Microbiol.* 2009; 75(2):345-352. doi: 10.1128/AEM.01958-08
23. Popović N, Dinić M, Tolinački M, Mihajlović S, Terzić-Vidojević A, Bojić S, Djokić J, Golić N, Veljović K. New insight into biofilm formation ability, the presence of virulence genes and probiotic potential of *Enterococcus* sp. Dairy Isolates. *Front. Microbiol.* 2018;9:78. doi: 10.3389/fmicb.2018.00078
24. Suvorov A, Zhao S, Leontieva G, et al. Evaluation of the Efficacy of *Enterococcus faecium* L3 as a feed probiotic additive in chicken. *Probiotics and Antimicro Prot.* 2023;15:1169-1179. doi: 10.1007/s12602-022-09970-0
25. Torres C, Alonso CA, Ruiz-Ripa L, León-Sampedro R, Del Campo R, Coque TM. Anti-microbial resistance in *Enterococcus* spp. of animal origin. *Microbiol Spectr.* 2018;6(4):10.1128/microbiolspec.arba-0032-2018. doi: 10.1128/microbiolspec.ARBA-0032-2018
26. Wang W, Cai H, Zhang A, Chen Z, Chan W, Liu G, et al. *Enterococcus faecium* modulates the gut microbiota of broilers and enhances phosphorus absorption and utilization. *Anim. (Basel).* 2020;10(7):1232. doi: 10.3390/ani10071232
27. Xiao J, Chen C, Fu Z, Wang S, Luo F. Assessment of the safety and probiotic properties of *Enterococcus faecium* B13 isolated from fermented Chili. *Microorganisms.* 2024;12(5):994. doi: 10.3390/microorganisms12050994
28. Zhang L, Yue HY, Zhang HJ, Xu L, Wu SG, Yan HJ, et al. Transport stress in broilers: I. Blood metabolism, glycolytic potential, and meat quality. *Poult Sci.* 2009;88(10):2033-2041. doi: 10.3382/ps.2009-00128

References

1. Yermolenko EI, Donets VN, Dmitrieva YuV, Ilyasov YuY, Suvorova MA, Gromova LV. Influence of probiotic enterococci on functional characteristics of rat bowel under disbiosis induced by antibiotics. *Bulletin of St. Petersburg University. Medicine.* 2009;1:157-167.

2. Lebedev MN, Kovalev SP. Application of a probiotic based on the *Enterococcus faecium* L-3 for prevention of enteritis in calves. Fundamentals and prospects of organic biotechnology. 2020;3:17-22.
3. Notova SV, Kazakova TV, Marshinskaya OV. The efficiency of probiotics in combination with biocoordination compounds on egg-production of birds. Animal Husbandry and Fodder Production. 2023;106 (1):156-166. doi:10.33284/2658-3135-106-1-156
4. Amaral DMF, Silva LF, Casarotti SN, Nascimento LC, Penna ALB. *Enterococcus faecium* and *Enterococcus durans* isolated from cheese: Survival in the presence of medications under simulated gastrointestinal conditions and adhesion properties. J Dairy Sci. 2017;100(2):933-949. doi: 10.3168/jds.2016-11513
5. Arias CA, Murray BE. The rise of the *Enterococcus*: beyond vancomycin resistance. Nat Rev Microbiol. 2012;10:266-278. doi: 10.1038/nrmicro2761
6. Baccouri O, Boukerb AM, Farhat LB, Zébré A, Zimmermann K, Domann E, Cambrone M, Barreau M, Maillot O, Rincé I, Muller C, Marzouki MN, Feuilloley M, Abidi F and Connil N. Probiotic potential and safety evaluation of *Enterococcus faecalis* OB14 and OB15, isolated from traditional tunisian testouri cheese and rigouta, using physiological and genomic analysis. Front Microbiol. 2019;10:881. doi: 10.3389/fmicb.2019.00881
7. Banwo K, Sanni A, Tan H. Technological properties and probiotic potential of *Enterococcus faecium* strains isolated from cow milk. J Appl Microbiol. 2013;114(1):229-241. doi: 10.1111/jam.12031
8. Chen Z, Niu C, Wei L, Huang Z, Ran S. Genome-wide analysis of acid tolerance genes of *Enterococcus faecalis* with RNA-seq and Tn-seq. BMC Genomics. 2024;8:25(1):261. doi: 10.1186/s12864-024-10162-z
9. Dikbaş N, Orman YC, Alım Ş, Uçar S, Tülek A. Evaluating *Enterococcus faecium* 9 N-2 as a probiotic candidate from traditional village white cheese. Food Sci Nutr. 2024;28:12(3):1847-1856. doi: 10.1002/fsn3.3878
10. Foulquié Moreno MR, Sarantinopoulos P, Tsakalidou E, Vuyst LDe. The role and application of enterococci in food and health. Int J Food Microbiol. 2006;106(1):1-24. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2005.06.026
11. Franz CMAP, Huch M, Abriouel H, Holzapfel W, Gálvez A. Enterococci as probiotics and their implications in food safety. Int J Food Microbiol. 2011;151(2):125-140. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2011.08.014
12. Genci G, Trotta F, Galdini G. Tolerance to challenges miming gastrointestinal transit by spores and vegetative cells of *Bacillus clausii*. J Appl Microbiol. 2006;101(6):1208-1215. doi: 10.1111/j.1365-2672.2006.03042.x
13. Han KI, Shin H-D, Lee Y, Baek S, Moon E, Park YB, Cho J, Lee J-H, Kim T-J, Manoharan RK. Probiotic and postbiotic potentials of *Enterococcus faecalis* EF-2001: a safety assessment. Pharmaceuticals. 2024;17(10):1383. doi: 10.3390/ph17101383
14. Hanchi H, Mottawea W, Sebei K, Hammami R. The genus *Enterococcus*: between probiotic potential and safety concerns—an update. Front Microbiol. 2018;9:1791. doi: 10.3389/fmicb.2018.01791
15. Hill C, Guarner F, Reid G, Gibson GR, Merenstein DJ, Pot B, Sanders ME, et al. Expert consensus document. The international scientific association for probiotics and prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology. 2014;11(8):506-514. doi: 10.1038/nrgastro.2014.66
16. Huys G, Botteldoorn N, Delvigne F, De Vuyst L, Heyndrickx M, Pot B, et al. Microbial characterization of probiotics—advisory report of the working group “8651 probiotics” of the Belgian superior health council (SHC). Mol Nutr Food Res. 2013;57(8):1479-1504. doi: 10.1002/mnfr.201300065
17. Liu SB, Liao XD, Lu L, Li SF, Wan L, Zhang LY, et al. Dietary non-phytate phosphorus requirement of broilers fed a conventional corn-soybean meal diet from 1 to 21 d of age. Poult Sci. 2017;96(1):151-159. doi: 10.3382/ps/pew212
18. Liu ZL, Chen YJ, Meng QL, Zhang X, Wang XL. Progress in the application of *Enterococcus faecium* in animal husbandry. Front Cell Intestinal Microbiome. 2023;13:1168189. doi: 10.3389/fcimb.2023.1168189

19. Lohans CT, Vederas JC. Development of Class IIa bacteriocins as therapeutic agents. *Int J Microbiol.* 2012;386410. doi: 10.1155/2012/386410
20. Makioka Y, Tsukahara T, Ijichi T, Inoue R. Oral supplementation of *Bifidobacterium longum* strain BR-108 alters cecal microbiota by stimulating gut immune system in mice irrespectively of viability. *Biosci Biotechnol Biochem.* 2018;82(7):1180-1187. doi: 10.1080/09168451.2018.1451738
21. Oldak A, Zielinska D. Bacteriocins from lactic acid bacteria as an alternative to antibiotics. *Postepy Hig Med Dosw.* 2017;71(0):328-338. doi: 10.5604/01.3001.0010.3817
22. Pereira CI, Matos D, Romão MVS, Crespo MTB. Dual role for the tyrosine decarboxylation pathway in *Enterococcus faecium* E17: response to an acid challenge and generation of a proton motive force. *Appl Environ Microbiol.* 2009;75(2):345-352. doi: 10.1128/AEM.01958-08
23. Popović N, Dinić M, Tolinački M, Mihajlović S, Terzić-Vidojević A, Bojić S, Djokić J, Golić N, Veljović K. New insight into biofilm formation ability, the presence of virulence genes and probiotic potential of *Enterococcus* sp. Dairy Isolates. *Front Microbiol.* 2018;9:78. doi: 10.3389/fmicb.2018.00078
24. Suvorov A, Zhao S, Leontieva G, et al. Evaluation of the Efficacy of *Enterococcus faecium* L3 as a feed probiotic additive in chicken. *Probiotics and Antimicro Prot.* 2023;15:1169-1179. doi: 10.1007/s12602-022-09970-0
25. Torres C, Alonso CA, Ruiz-Ripa L, León-Sampedro R, Del Campo R, Coque TM. Antimicrobial resistance in *Enterococcus* spp. of animal origin. *Microbiol Spectr.* 2018;6(4):10.1128/microbiolspec.arba-0032-2018. doi: 10.1128/microbiolspec.ARBA-0032-2018
26. Wang W, Cai H, Zhang A, Chen Z, Chan W, Liu G, et al. *Enterococcus faecium* modulates the gut microbiota of broilers and enhances phosphorus absorption and utilization. *Anim. (Basel).* 2020;10(7):1232. doi: 10.3390/ani10071232
27. Xiao J, Chen C, Fu Z, Wang S, Luo F. Assessment of the safety and probiotic properties of *Enterococcus faecium* B13 isolated from fermented Chili. *Microorganisms.* 2024;12(5):994. doi: 10.3390/microorganisms12050994
28. Zhang L, Yue HY, Zhang HJ, Xu L, Wu SG, Yan HJ, et al. Transport stress in broilers: I. Blood metabolism, glycolytic potential, and meat quality. *Poult Sci.* 2009;88(10):2033-2041. doi: 10.3382/ps.2009-00128

Информация об авторах:

Евгения Николаевна Колодина, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории микробиологии, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, 142132, Московская область, городской округ Подольск, п. Дубровицы, д. 60, тел.: 8(4967)651133.

Мария Валентиновна Довыденкова, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории микробиологии, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, 142132, Московская область, городской округ Подольск, п. Дубровицы, д. 60, тел.: 8(4967)651133.

Information about the authors:

Evgeniya N Kolodina, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher at the Microbiology Laboratory, Federal Research Center of Animal Husbandry – VIZ named after Academician L.K. Ernst, 60 Dubrovitsy village, Podolsk City district, Moscow region, 142132, tel.: 8(4967)651133.

Maria V Dovydenkova, Cand. Sci. (Agriculture), Researcher at the Microbiology Laboratory, Federal Research Center of Animal Husbandry – VIZ named after Academician L.K. Ernst, 60 Dubrovitsy village, Podolsk City district, Moscow region, 142132, tel.: 8(4967)651133.

Статья поступила в редакцию 24.03.2025; одобрена после рецензирования 22.05.2025; принята к публикации 15.09.2025.

The article was submitted 24.03.2025; approved after reviewing 22.05.2025; accepted for publication 15.09.2025.